

*Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів.  
Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 16-17 листопада 2017.*

УДК 663.059

В.В. Черній

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРОДИНАМІЧНОГО  
ОПОРУ В КІЛЬЦЕВОМУ КАНАЛІ ПРИ РОЗЛИВІ ГАЗОВАНИХ РІДИН**

V.V. Chernij

**HYDRODYNAMIC FEATURES OF THE GAS FLUID CURRENCY IN THE  
CELL CHANNEL IN LUBRICANTS**

У харчовій промисловості при розливі шампанського, пива та інших газонаповнених рідин широко поширений випадок ізотермічного руху нестисливої рідини в кільцевому зазорі між двома концентричними трубами (рис.1). Труднощі у вдосконаленні виробництва газонаповнених напоїв з точки зору підвищення ресурсозбереження створює стадія їх розливу. З одного боку, неконтрольовані швидкості і газовміст призводить до несанкціонованого підвищення тиску і «виплеску» напоїв. З іншого боку, занижені швидкості розливу зменшують продуктивність процесу. Одним із шляхів подолання даних проблем є зменшення стрибків надлишкового тиску за рахунок вдосконалення фасувального пристрою.

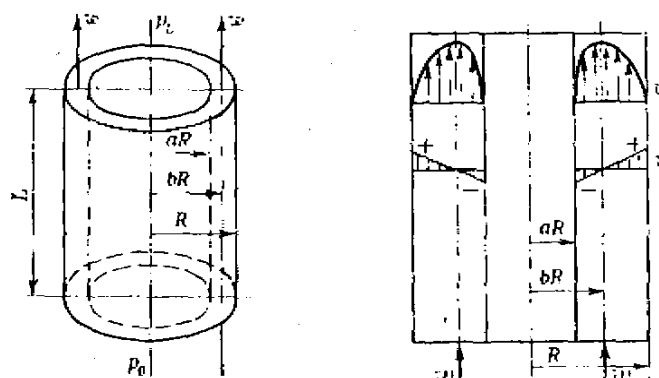


Рисунок 1. Рух рідини в кільцевому зазорі між двома концентричними трубами

При вирішенні завдань, пов'язаних з визначенням режиму транспортування рідин або газів в трубопроводах, зазвичай користуються залежністю між відношенням  $w/w_{\max}$  і значенням критерію Рейнольдса:

$$w_{cp} = 0.817 w_{\max}.$$

Коефіцієнт опору  $\lambda$  при турбулентному режимі руху в межах зміни значень критерію  $Re$  від  $4 \cdot 10^3$  до  $10^5$  для гідравлічно-гладких труб зазвичай визначають за формулою Блазіуса:

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{0.25}}.$$

Більш точна залежність (для великих значень  $Re$ ) між коефіцієнтом опору  $\lambda$  і режимом руху може бути отримана при використанні логарифмічного закону розподілу швидкостей. При виведенні логарифмічного профілю  $Re$  прямує до 0, оскільки нехтують молекулярної в'язкості  $\mu$  в порівнянні з в'язкістю при турбулентній течії  $\mu_t$ . Для значень  $Re > 10^5$  коефіцієнт опору можна розрахувати за формулою:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg (Re \cdot \sqrt{\lambda}) - 0.8.$$

Дослідженнями Нікурадзе, Шіллера та інших вчених встановлено, що коефіцієнт опору  $\lambda$  в значній мірі залежить також і від шорсткості труб:

$$\lambda = f(Re, e),$$

де  $e$  - ефективна висота виступів на внутрішній поверхні труби. Зазвичай для характеристики шорсткості використовують так звану відносну шорсткість  $e/d$  або  $d/e$  (де  $d$  - діаметр труби).

Якщо висота виступів  $e$  в трубі менша товщини ламінарного підшару  $\delta$ , то шорсткість стінок не впливає на величину коефіцієнта опору  $\lambda$  при турбулентному режимі руху потоку. При великій висоті виступів ( $e > \delta$ ) турбулентність потоку збільшується, і опір зростає. Для рівномірно зернистої шорсткості стінки труби можна приймати гідравлічно гладкою в тих випадках, коли відносна шорсткість менше граничного значення

$$\left(\frac{e}{d}\right)_{np} = 17.85 Re^{-0.875}$$

При ламінарному режимі руху вплив шорсткості стінок труби на опір дуже незначний і ним зазвичай нехтують. У перехідній області від ламінарного до турбулентного режиму величина відносної шорсткості майже не впливає на коефіцієнт опору  $\lambda$ . Область, в якій коефіцієнт  $\lambda$  залежить тільки від відносної шорсткості і не залежить від  $Re$ , носить назву області квадратичної залежності опору від швидкості потоку. Наведені вище формули для визначення гідродинамічного опору справедливі як для труб з круглим перетином, так і з не круглим, якщо в критерій Рейнольдса ввести замість діаметра труби еквівалентний гідравлічний діаметр  $d$ . Так, наприклад, для перетину міжтрубного простору дозуючої ємкості типу «труба в трубі» еквівалентний діаметр

$$d_e = \frac{4\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4\pi \cdot (D + d)} = D - d.$$

Щоб простежити залежність об'ємної витрати і газовмісту від шорсткості поверхні внутрішніх стінок дозатора слід розглядати область розвиненої турбулентності чи область квадратичної залежності. В області квадратичної нерівності течія рідини описується рівнянням Прандтля-Нікурадзе:

$$\lambda = \frac{1}{\left(1.14 + 2 \lg \frac{d}{k}\right)^2}.$$

Залежність газотримання від шорсткості внутрішньої поверхності можна розраховувати за формулою:

$$\varepsilon'_G = \frac{p'' \cdot \varepsilon''_G}{p'' \varepsilon''_G + p' \varepsilon''_H},$$

де  $\varepsilon'_G$ ,  $\varepsilon''_G$ ,  $\varepsilon''_H$  - об'ємні частки газу в рідині або газовміст розлитого напою в ємкості; газу в рідкій фазі або газоскупчення в рідині в баці розливу; рідкої фази в двохфазній суміші в баці розливу. З врахуванням коефіцієнта опору  $\lambda$ , перепад тиску буде:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l \cdot w_{cp}^2 \cdot \rho}{d \cdot 2}.$$

Таким чином прослідковується залежність газовмісту, точності дозування, а, отже, і якості продукту, від внутрішньої шорсткості стінок розливного пристрою.